

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-71-81

^{1,*}Онищук В.И., ²Лазарова Ю.С., ¹Евтушенко Е.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²АО «НПО Стеклопластик»

*E-mail: v.onishchuk@mail.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ РЕФТИНСКОЙ ГРЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕПРЕРЫВНОГО СТЕКЛОВОЛОКНА

Аннотация. В статье приведены результаты оценки исследования возможности применения золошлаковых отходов (золы) Рефтинской ГРЭС в качестве компонента шихты, используемой в производстве непрерывного стекловолокна высокомодульного (тип Е), диэлектрически стойкого (тип S) и высокопрочного, химически устойчивого базальтового (тип Б) составов. Поскольку химический состав золы является многокомпонентным и существенно отличается от составов, традиционно используемых в производстве стекловолокна сырьевых материалов, то для установления технологических особенностей ее применения в качестве компонента шихт, были спроектированы экспериментальные составы стекол, обеспечивающие достижение заданных значений их физико-механические свойства, при максимально возможном содержании в составе стекольных шихт золы. Априорная оценка показала, что приемлемые свойства стекол для стекловолокна составов Е, S и Б могут быть получены при содержании в шихтах 36 %, 68 % и 64 % золы, соответственно, для перечисленных типов стекол. Определение интервалов температур стеклования экспериментальных составов шихт, показало, что увеличение содержания в них золы повышает температуру, обеспечивающую получение качественного расплава. Исследования склонности экспериментальных составов стекол к кристаллизации, препятствующей эффективному процессу волокнообразования, позволило определить, что практически все составы имеют пониженную склонность к кристаллизации, следовательно, могут быть использованы в производстве стекловолокна типов Е, S и Б.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, свойства, моделирование составов стекол, свойства, стеклование и кристаллизация экспериментальных стекол.

Введение. Золошлаковые отходы (ЗШО) – крупнотоннажные не классифицированные, с неопределенными характеристиками отходы производственной деятельности тепловых электростанций (ТЭС) и котельных, образующиеся при сжигании ископаемого топлива для производства электроэнергии и тепла.

Содержание золы при сгорании ископаемого топлива различно и зависит от его вида: от 1 до 45 мас.% в каменных и бурых углях, от 50 до 80 мас.% в горючих сланцах и от 2 до 30 мас.% в топливном торфе.

Важной особенностью ЗШО является то, что наряду с высоким (90 и более мас.%) содержанием в них алюмосиликатов, до 10 мас.% могут быть представлены такими металлами, как барий, титан, марганец, стронций, цирконий, ванадий и др., что объясняется возрастанием их концентрации в 5–6 раз по отношению к исходной в процессе сжигания углей. В золошлаковых отходах могут содержаться и несгоревшие органические частицы топлива, которые могут играть определенную роль при термической обработке отходов в процессе утилизации [1–3].

Поскольку зола и шлак не являются токсичными, и непосредственный контакт с ними не наносит вреда здоровью человека, то эти отходы можно считать вторичными ресурсами сырьевого значения, т.е. их можно рассматривать как

техногенные месторождения полезных ископаемых, в частности в производстве силикатных материалов как недефицитный комплексный вид сырья.

С другой стороны, уже накопленные отвалы ЗШО являются источником повышенной экологической опасности и оказывают косвенное негативное влияние на здоровье человека, подземные и поверхностные воды, атмосферу, растительный и животный мир. ЗШО служат причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного пользования [1].

Поэтому грамотная утилизация золошлаковых отходов ТЭС – это комплексная проблема, связанная с решением не только экологических задач (уменьшение площади территорий, отводимых под складирование золошлаков, снижение загрязнения окружающей среды при эксплуатации отвалов, сокращение потребления нерудного минерального сырья, замещаемого золошлаками), но и с эффективностью использования технологических и экономических механизмов, действующих в современных условиях. Поэтому актуальность поиска новых путей утилизации ЗШО очевидна и не вызывает сомнений, поскольку в России почти 70 % всей электроэнергии вырабатывается путем сжигания твердого топлива, в результате чего ежегодно образуется около 50 млн.т. золошлаковых отходов, и при

этом уровень их использования не превышает 4 % [4]. На сегодняшний день в России накоплено около 2 млрд т отходов, которые размещаются на территориях более 22 000 га [2, 4, 5]. Такие объемы ЗШО и занимаемые ими территории, позволяют относить их к природным сырьевым материалам, с соответствующим научным и практическим подходом решения путей рационального применения в различных отраслях промышленности.

Методы, оборудование, материалы. Оценка возможности применения ЗШО в качестве компонента шихт для производства различных видов стекловолокна производилась расчетными и экспериментальными методами, традиционно применяемые для решения сходных задач. Так, расчетными методами определялись пределы массовых содержаний ЗШО в шихтах, способных обеспечить не только достижения заданных составов, но и заданных свойств стекол, обеспечивающих их принадлежность к составам стекловолокон типов S, E и Б. Свойства стекол рассчитывались по аддитивному методу А.А. Аппена [6, 7]. Вязкость экспериментальных составов оценивалась расчетным методом по уравнениям Фогеля-Фулчера-Таммана (ФФТ), выведенным на основе химического состава стекла по методу расчета вязкости Охотина [8, 9] и сотрудников всемирно известной компании PPG Industries – Фредериком Валленбергом, Джеймсом Ватсоном и Хонг Ли [10].

Для оценки технологических свойств ЗШО использовались следующие методы: гранулометрический состав золы определялся при помощи автоматизированного лазерного анализатора размеров частиц ANALYSETTE 22, поведение при нагреве изучено методом синхронного термического анализа с помощью STA 449 F1 Jupiter® фирмы NETZSCH, минеральный состав – при помощи дифрактометра общего назначения ДРОН-3. Температуры стеклования экспериментальных шихт для стекол типов S, E и Б определялись методом их ступенчатой термообработки, склонность моделируемых составов к кристаллизации – методом массовой кристаллизации; идентификация продуктов кристаллизации производилась путем обработки дифрактограмм полученных при помощи дифрактометра ДРОН-3.

Для приготовления экспериментальных шихт, наряду с ЗШО использовался кварцевый песок марки ВС-030-В (ГОСТ 22551-2019), доломит марки ДМ-20-0,10 (ГОСТ 23672-2020), мел марки МК1 (ГОСТ 17498-72), сульфат натрия марки ОКП 21-4111-0620 (ГОСТ 21458-75).

Основная часть. Химический состав исследуемых ЗШО Рефтинской ГРЭС, как и других, во

многом, определяется зольностью углей, которые используются для генерации теплоносителя. В рассматриваемом случае Рефтинская ГРЭС использует угли Экибастузского бассейна, характеризующиеся зольностью 30...40 %. Состав и свойства зол определяется количественным соотношением входящих в них минералов, который, в свою очередь, зависит от минералогического состава исходной неозоленной части топлива.

Химический состав ЗШО, использованный для проведения исследований, по данным Рефтинской ГРЭС, следующий, масс. %: 59,06 SiO₂; 1,11 TiO₂; 25,67 Al₂O₃; 6,55 Fe₂O₃; 0,61 MgO; 2,29 CaO; 0,25 Na₂O; 0,60 K₂O; 0,05 SO₃. Как видно из указанных значений, максимум приходится на оксиды SiO₂ и Al₂O₃, которые в сумме составляют около 85 мас. %, что позволяет отнести ЗШО к группе алюмосодержащих сырьевых материалов, таких как полевые шпаты, пегматиты, глины, базальты и др.

Анализ химический составов и свойств стеклянных волокон позволил выделить те из них, которые, обладая высокими значениями механических свойств, могут быть использованы в качестве фибровой арматуры в бетонах самостоятельно или в составе стеклопластиковых армирующих элементов – стержней, пластин и др. Особенностью химических составов стекловолокон является высокое содержание оксида алюминия, что предопределяет высокую долю в шихте ЗШО в случае использования их в качестве базового сырьевого материала.

Для выбранных проектных составов волокон (табл. 1) типа E (диэлектрически стойкий), S (высокомодульный), и Б (базальтовый, высокопрочный и цементостойкий) были рассчитаны шихты с использованием ЗШО и по результатам расчета определены расчетные составы, отличающиеся от проектных из-за наличия в отходах значительного количества оксидов железа.

Расчетные значения физико-механических свойств стекол (табл. 2) проектных и расчетных составов показывают определенные расхождения, связанные с наличием в расчетных составах ЗШО, которые является причиной изменения соотношения ряда оксидов вследствие повышенного содержания в ЗШО оксида алюминия (Al₂O₃).

Анализ данных, приведенных в табл. 3, наглядно показывает, что в составах S и Б содержание ЗШО является настолько высоким, что они могут рассматриваться, как базовый сырьевой материал, содержание которого в шихтах составляет 67,4 и 64,2 мас. %, соответственно. Также особенностью экспериментальных составов E и S является повышенное значение «угара» шихт.

Расчетные химические составы стекол использовались для расчета рецептур шихт (табл. 3)

и оценки содержания сырьевых компонентов в них.

Таблица 1

Базовые, проектные и расчетные химические составы стекол для получения непрерывного стекловолокна

Тип стекловолокна	Содержание оксидов, масс. %								
	SiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Σ
Е	59,0–60,0	0,5–1,5	12–13	0,2	3,0–4,0	22,0–23,0	0,6–0,9	0–0,2	–
- проектный	59,0	–	12,0	–	4,0	23,0	2,0	–	100
- расчетный	57,0	0,5	11,6	2,9	3,9	22,2	1,9	–	100
S	60,0–65,5	0–1	23,0–35,0	0,01	6,0–11,0	0–9,0	0–0,1	–	–
- проектный	62,0	–	25,0	–	6,0	–	7,0	–	100
- расчетный	52,5	1	21,2	5,3	5,0	9,1	5,9	–	100
Б	47,5–55,0	0,3–2,0(TiO ₂)	14,0–20,0	7,0–13,5	3,0–8,5	7,0–11,0	2,5–7,5	2,5–7,5	–
- проектный	52,8	–	18,0	–	3,7	8,5	3,5	–	86,5
- расчетный	57,4	1,0	19,5	4,9	4,0	9,3	3,9	–	100

Таблица 2

Свойства экспериментальных составов стекол для стекловолокна типов S, E и Б

Тип стекловолокна	Показатели свойств					
	ρ, кг/м ³	E, ГПа	G, ГПа	α · 10 ⁷ , К ⁻¹	σ, Н/м	n _D
Е, проект	2615,5	81,7	34,7	54,1	–	–
Е, расчет	2659,5	80,1	34,5	63,6	0,387	1,517
S, проект	2501,7	80,02	33,7	45,5	–	–
S, расчет	2569,6	76,1	33,0	48	0,368	1,462
Б, проект	2501,5	78,2	32,8	55,1	–	–
Б, расчет	2579,5	75,53	32,46	55,2	0,367	1,4616

Таблица 3

Характеристика экспериментальных шихт для стекловолокна типов S, E и Б

Шихта	Зола	Песок	Доломит	Мел	Сульфат	Σ	«Выход» стекла	«Угар» шихты
Е	45,483	31,108	18,378	29,892	3,94	128,8	77,6	22,4
	35,4	24,1	14,2	23,2	3,1	100%		
S	96,378	4,56	27,334	–	14,72	142,99	69,9	30,1
	67,4	3,2	19,1	–	10,3	100%		
Б	69,38	11,469	16,503	3,300	7,04	107,7	92,8	7,2
	64,2	10,6	15,3	3,1	6,5	100%		

Из ряда показателей качества сырьевых материалов, гранулометрический состав во многом определяет их технологичность и экологическую составляющую, поскольку значительное содержание в ЗШО тугоплавких оксидов будет определять скорость трансформации шихты в стеклообразное состояние. Так в традиционных стекольных шихтах скорость процессов стеклообразования лимитируется размером зерен кварцевого песка, в рассматриваемом случае – размерами частиц ЗШО, содержащих значительные количества оксидов кремния и алюминия. Экологическая составляющая связана с наличием в сырьевых материалах определенного содержания пылевидной фракции – частиц с размером менее 10

мкм, что определяет категорию пыли от крупного до средне- и мелкодисперсной.

Исследование интегрального и дифференциального распределения размеров частиц ЗШО (рис. 1) показало, что материал является полидисперсным, с преимущественным содержанием частиц от 0,1 мкм до 50 мкм с максимумом 20 мкм – 1-ый диапазон и от 50 мкм до 200 мкм с максимумом 100 мкм – 2-ой диапазон, а содержание пылевидной фракции с размерами частиц <10 мкм составляет не более 25 %, что потребует при разгрузке и транспортировании ЗШО использовать герметизацию транспортирующего технологического оборудования и систем аспирации, которые в настоящее время широко используются в

производстве стекла и других силикатных материалов. Удельная поверхность ЗШО составляет

467 м²/кг, а объемная плотность находится в диапазоне пределах 0,760–0,820 кг/м³.

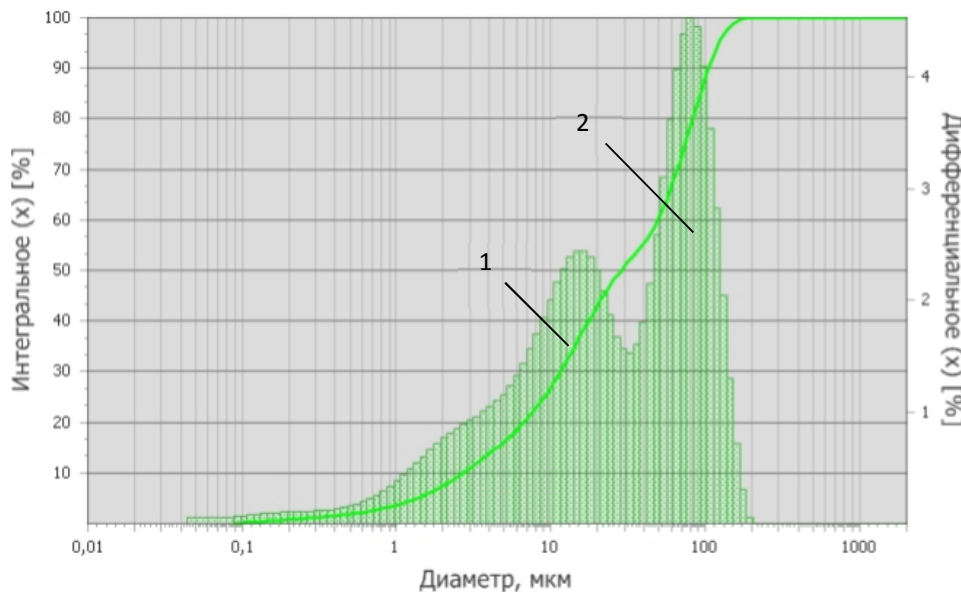


Рис. 1. Интегральное (1) и дифференциальное (2) распределение размеров частиц ЗШО Рефтинской ГРЭС

Согласно результатам синхронного термического анализа (рис. 2), ЗШО Рефтинской ГРЭС можно назвать инертным материалом, поскольку при полном выгорании углерода они представляют собой несгорающий остаток, поскольку все

возможные фазовые превращения и реакции были реализованы ранее в процессе теплогенерации при сжигании углей.

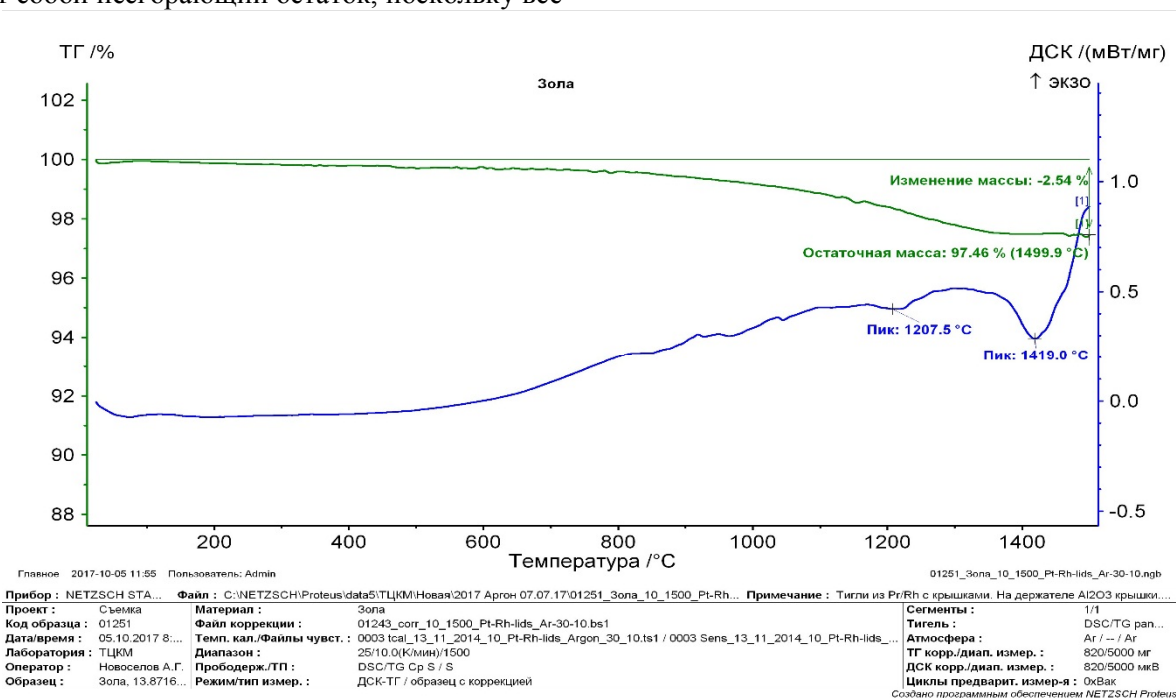


Рис. 2. Термический анализ ЗШО Рефтинской ГРЭС

Потери массы ЗШО в интервале температур от 20 до 1400 °C составили 2,54 %. Эндотермические эффекты в интервалах температур 1180...1220° и 1380...1450° с максимумами, со-

ответственно 1207 °C и 1419°, по нашему мнению, связаны с образованием и плавлением тугоплавкой стеклофазы на основе силиката кальция. По результатам РФА (рис. 3) в ЗШО обнаружен муллит (3Al₂O₃·2SiO₂) и кварц (SiO₂).

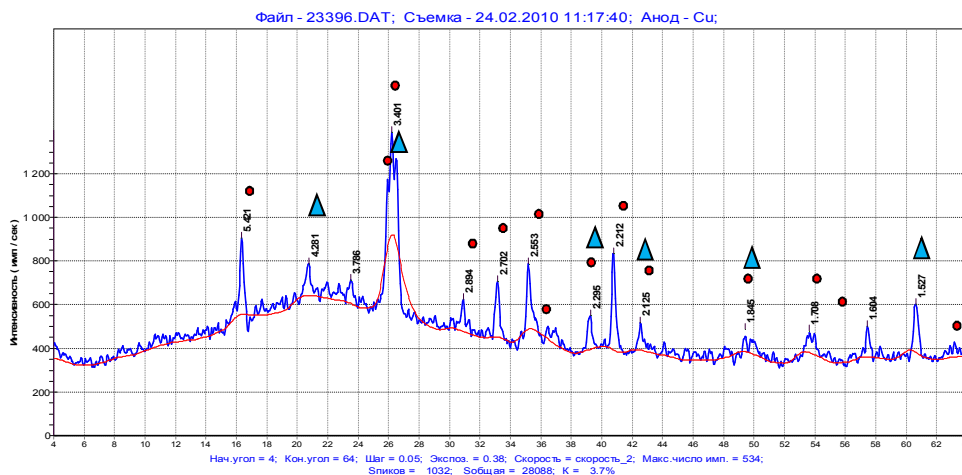


Рис. 3. Дифрактограмма ЗШО Рефтинской ГРЭС:

● – муллит, $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; ▲ – кварц, SiO_2

В связи с тем, что температура плавления кварца составляет $1710\text{ }^\circ\text{C}$, а муллита $1810\text{--}1820\text{ }^\circ\text{C}$, предполагать, что эндотермический эффект при $1419\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2) может быть объясним их плавлением нельзя, следовательно предположение о принадлежности этого эндотермического эффекта к переходу в жидкую фазу образовавшегося силиката кальция ($CaSO_3$) является наиболее вероятным.

Одной из важнейших характеристик стекол, определяющей их пригодность к производству различных видов стеклоизделий, является температурная зависимость вязкости.

$$\eta_{1450} = 0,677x_1 - 4,615x_2 + 2,802x_3 + 0,76x_4 - 1,161x_5 - 0,868x_6 + 0,241x_7 - 7,03x_8$$

$$\eta_{1400} = 1,165x_1 - 5,34x_2 + 5,36x_3 + 0,056x_4 - 2,565x_5 - 1,586x_6 - 0,488x_7 - 10,45x_8$$

$$\eta_{1350} = 2,002x_1 - 13,189x_2 + 8,79x_3 + 0,151x_4 - 3,48x_5 - 2,15x_6 - 0,63x_7 - 19,74x_8$$

$$\eta_{1300} = 4,14x_1 - 29,01x_2 + 12,608x_3 + 0,54x_4 - 4,58x_5 - 3,655x_6 + 1,236x_7 - 42,27x_8$$

$$\eta_{1250} = 5,35x_1 - 12,176x_2 + 16,46x_3 + 2,45x_4 - 10,02x_5 + 6,008x_6 + 10,33x_7 - 75,82x_8$$

где: η – вязкость, Пз ($10\text{ Пз} = 1\text{ Па}\cdot\text{с}$); x_1 – содержание SiO_2 , мас. %; x_2 – TiO_2 ; x_3 – Al_2O_3 ; x_4 – Fe_2O_3 ; x_5 – FeO ; x_6 – MgO ; x_7 – CaO ; x_8 – Na_2O .

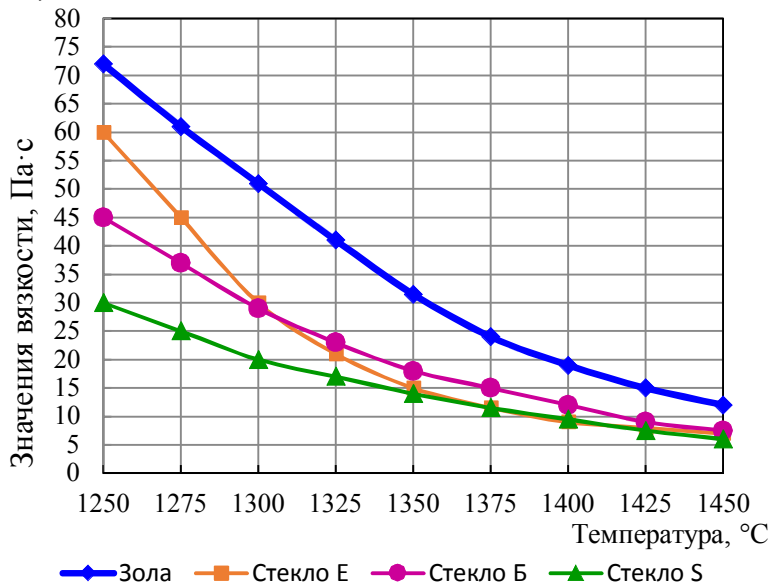


Рис. 4. Температурная зависимость вязкости золы и составов Е, S и Б

Расчетные температурные зависимости вязкости (рис. 4) ЗШО и экспериментальных стекол показывают, что расплавы проектных составов Е, S и Б будут относиться к группе вязких и поэтому пригодны для получения стекловолокон.

Для визуального анализа поведения экспериментальных шихт в процессе нагрева, термообработке в интервале температур 1000...1500 °С, подвергались специально отформованные брикеты шихт. Термообработка шихт при 1500 °С проводилась в корундовых тиглях вместимостью 30 мл. Нагрев экспериментальных шихт производился со скоростью 200 °С/ч, выдержка при максимальной температуре составляла 1 ч, после чего для фиксации их состояния они быстро извлекались из рабочей камеры печи и охлаждались при комнатной температуре.

В результате термообработки были построены 3-х компонентные диаграммы плавкости экспериментальных составов шихт (табл. 4), полученных путем суммирования содержания в шихтах тугоплавких сырьевых материалов – песка и золошлаковых отходов (П+ЗШО), карбонатных

материалов – доломита и мела (Д+М), где третьим компонентом является сульфат натрия (С) – щелочесодержащее сырье, эффективный ускоритель варки и осветлитель стекломассы.

Таблица 4

Данные для построения диаграмм плавкости

Тип стекла	П + ЗШО	Д+М	С
Е	59,5	37,5	3
S	70,6	19,1	10,3
Б	75,1	18,4	6,5

После построения диаграмм плавкости экспериментальных шихт (рис. 5–9), было установлено, что после термообработки при 1000 °С брикеты Е, S и Б не изменили своей конфигурации (рис. 5), произошло твердофазное спекание – спекание без образования жидкой фазы. Такое спекание, как правило, происходит в несколько этапов: возникновение и развитие связей между частицами, образование и рост контактов, закрытие сквозной пористости, укрупнение и сфероидизация пор, уплотнение за счет усадки [12].

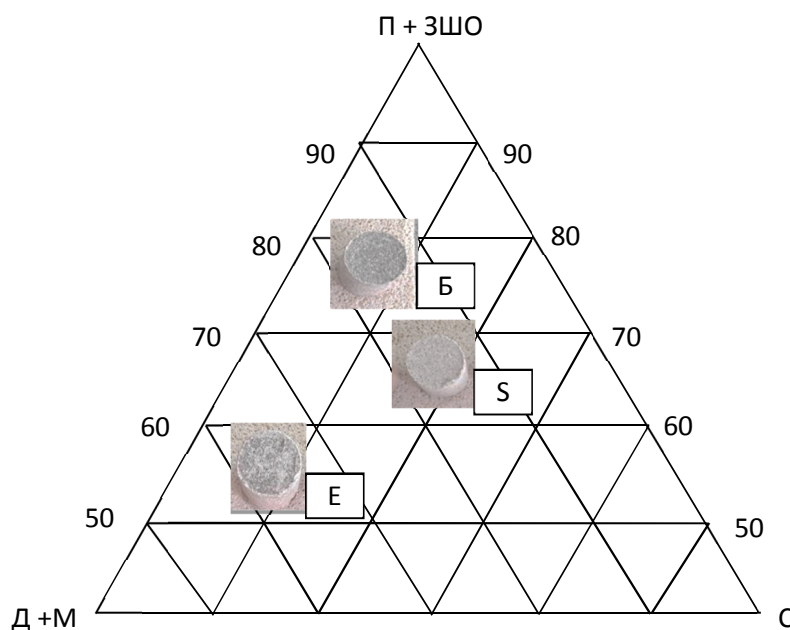


Рис. 5. Диаграмма плавкости шихт, термообработанных при 1000 °С

Подобное состояние брикетов отмечалось и после термообработки при температуре 1100 °С, что объясняется повышенным содержанием в составе экспериментальных шихт тугоплавких стеклообразующих ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) оксидов и пониженным содержанием легкоплавкого оксидомодификатора (Na_2O) в сравнении с традиционными составами массово используемых в стеклоделии натрийкальцийсиликатных стекол.

Определенное изменение размеров и структуры брикетов отмечается уже при 1200 °С (рис. 6). Так состав стекла типа Е оплавился больше, нежели брикеты составов S и Б, что говорит об

относительно большей легкоплавкости состава этого типа в сравнении с другими.

При повышении температуры до 1300 °С, брикеты экспериментальных шихт оплавившись в большей степени, что сопровождалось накоплением достаточного количества микроучастков расплава, обеспечивающего переход шихт в область пластической деформации (рис. 7), позволяющей протекать процессам удаления из образовавшейся стекломассы продуктов диссоциации карбонатов и сульфата натрия, а также физически вовлеченного с сырьевыми материалами воздуха.

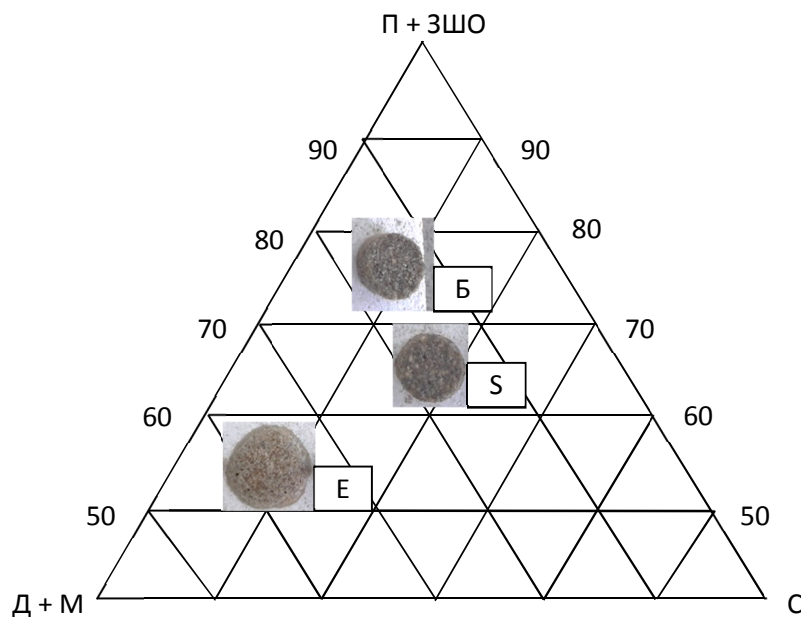


Рис. 6. Диаграмма плавкости шихт, термообработанных при 1200 °C

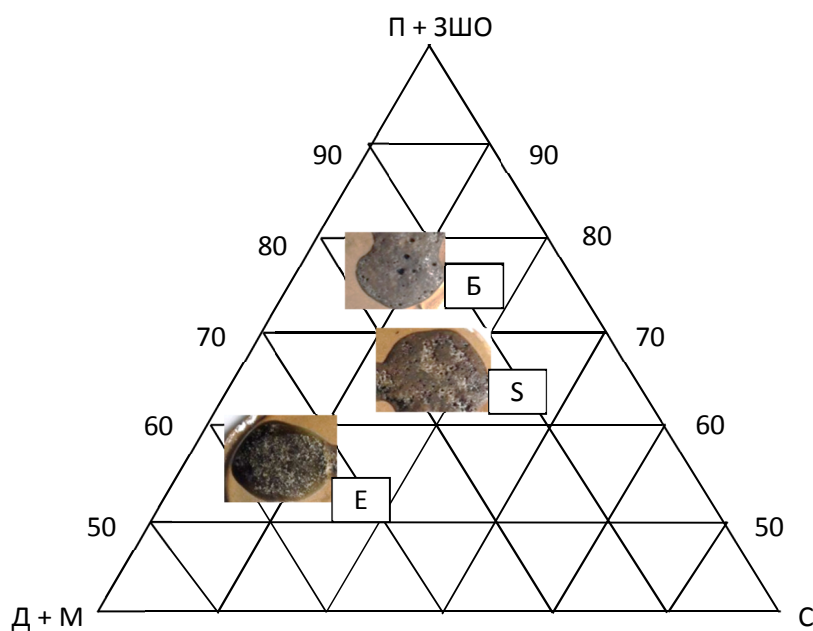


Рис. 7. Диаграмма плавкости шихт, термообработанных при 1300 °C

Как можно было предположить из температурной зависимости вязкости (рис. 4), температура варки экспериментальных стекол, соответствующая вязкости < 10 Па·с, составит порядка 1500 °C. На диаграмме плавкости шихт, термообработанных при 1500 °C (рис. 8) видно, что на поверхности стекломассы в тиглях с составами S и Б осталась варочная пена. Это может быть связано с высоким содержанием в шихте сульфатов и сульфидной серы, являющихся причинной протекания окислительно-восстановительных процессов с выделением газов при разложении сульфата натрия.

Как известно [13, 14], сульфат натрия подразделяют на три типа, и, в зависимости от содержания, он может присутствовать в стекле в трех типах. Тип А – растворяющийся в расплаве стекла во время плавления шихты и остающийся в не разложенном состоянии до конца варки (< 2 мас. % от Σ щелочей). Тип В – растворяющийся в расплаве стекла в перенасыщенном состоянии (3...4 мас. % от Σ щелочей, но при повышении температуры разлагающийся в интервале 1350...1400 °C).

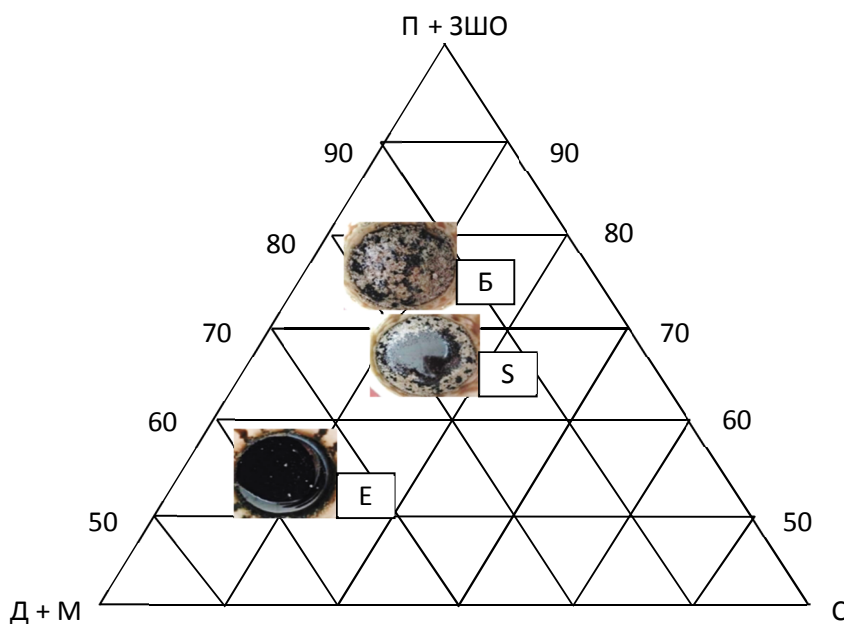


Рис. 7. Диаграмма плавкости шихт, термообработанных при 1500 °С

При разложении сульфат реагирует с кварцевым песком с образованием метасиликата натрия с выделением диоксида серы и кислорода. Эффект «механического перемешивания» ускоряет растворение кварцевых зерен, а газообразный диоксид серы – повышает скорость «осветления». Тип С – не растворяющийся в расплаве стекла и проявляющиеся в виде «щелоков» на поверхности расплава стекла (более 6 мас.% от Σ щелочей). При установившемся равновесии А+В, остаток выделяется в виде «щелоков» на поверхности стекломассы. Для освобождения от них зеркала стекломассы используют восстановители: 5...6 % от массы сульфата – уголь, сульфатно-угольные смеси, растворы сульфата в эмульсиях мазута и др. Поскольку в состав экспериментальных шихт восстановители не вводили, а содержание сульфата в шихтах составляет (табл. 3) мас. %: 3,1 (тип Е); 6,5 (тип Б) и 10,3 (тип С), представленные данные о роли сульфата в стекле полностью согласуются с полученными данными в диаграмме плавкости шихт, термообработанных при 1500 °С.

Цвет всех составов стекол зелено-коричневый (темно-оливковый), так как носителем железа являются ЗШО. Интенсивность окраски пропорциональна содержанию ЗШО в шихте и увеличивается в ряду $E < B < S$.

Лучше всего проварился состав Е, содержащий наименьшее количество тугоплавких компонентов шихты, поверхность стекломассы чистая, без спеков и пены. В объеме практически отсутствуют газовые включения, стекломасса хорошо осветлена.

Далее по степени качества провара следует состав S; на поверхности наблюдаются пузырьки

воздуха, а по периметру частично вспененные участки с остеклованной поверхностью или участки спеков.

Наиболее трудно проваривался состав Б. Поверхность стекломассы покрыта плотной пленкой пены, содержащей не растворившиеся частицы кварцевого песка.

Выводы

1. Установлены физико-механические свойства ЗШО, позволяющие говорить о технологической пригодности этого вида материала в технологии традиционных стекольных шихт без дополнительной их обработки.

2. Изучен минералогический состав и поведение ЗШО при нагреве, определены температурные зависимости вязкости экспериментальных составов, что подтверждает рациональность их применения в производстве стекла типов Е, S и Б.

3. Построенные диаграммы плавкости дают основные представления о стекловании экспериментальных шихт и выявляют некоторые особенности, которые необходимо учитывать при развитии исследований в данном направлении.

4. В целом, доказана возможность использования ЗШО Рефтинской ГРЭС в качестве основного сырьевого материала при производстве непрерывного волокна типов S и Б, содержание в составах которых ЗШО соответственно составляет 67,4 и 64,2 мас. %. В стекле типа Е содержание ЗШО составляет 35,4 мас. %, что также позволяет говорить о значительной экономии кварцсодержащего и алюминийсодержащего сырья в производстве этого типа стекла и расширяет представления о сырьевой базе для производства различных типов стекловолокна.

5. Полученные в результате исследования данные могут оперативно реплицироваться в отношении применения ЗШО других 80 ГРЭС России, основным источником топлива на которых являются ископаемые угли различных месторождений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архангельский И.В. Золошлаковые отходы ТЭС и котельных. Инженерные изыскания. Утилизация. GEOinfo.ru. Информационный ресурс для инженеров-изыскателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/products-pdf/zoloshlakovyie-othody-tehs-i-kotelnyh-inzhenernye-izyskaniya-utilizaciya.pdf>. (дата обращения 14.02.2020)
2. Шамрай Е.И., Таскин А.В., Иванников С.И., Юдакова А.А. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий энергетики Приморского края // Современные наукоемкие технологии. 2017. №3. С.68–75.
3. Калачев А. Рынок золошлаковых материалов России: проблемы и решения [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/30342910-Rynok-zoloshlakovyih-materialov-rossii-problemy-i-resheniya.html> (дата обращения 12.03.2021).
4. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077.
5. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола-уноса – техногенное сырье. М.: ИИЦ «Маска», 2009. 319 с.
6. Химия стекла. Ленинград: Химия. Ленингр. отд-ние, 1970. 351 с.
7. Матвеев М.А., Матвеев Г.М., Френкель Б.Н. Расчеты по химии и технологии стекла: Справочное пособие. Москва, 1972. 233с.
8. Мазурин О.В., Николина Г.П., Петровская М.Л. Расчет вязкости стекол. Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1988. 46 с.
9. Жерновой Ф.Е., Красильникова Е.А. Закаленные механически матированные стекла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 177–181.
10. Wallenberger F.T., Watson J.C., Li, Hong. Glass fibers. ASM Handbook. 2000. 21. Pp. 27–34. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v21.a0003353>
11. Tatarintseva O.S., Khodakova N.N., Uglova, T.K. Dependence of the viscosity of basalt melts on the chemical composition of the initial mineral material // Glass Ceram. 2012. 68. Pp. 323–326 <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9381-9>
12. Будников П.П., Балкевич В.Л., Булавин И.А., Полубояринов Д.Н., Бережной А.С., Куколев Г.В., Попильский Р.Я. Химическая технология керамики и огнеупоров. Изд-во литературы по строительству, М.:1972. 553 с.
13. Min'ko N. I. Binaliev I. M. Role of sodium sulfate in glass technology // Glass Ceram. 2013. 69. Pp. 361–365. <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9479-8>
14. Zhernovaya N.F., Min'ko N.I., Onishchuk V.I., Kochetov M.Yu., Borodkin S. A. Effectiveness of sulfate clarification of type E alkali-free glass // Glass Ceram. 2008. 65. 109–112. <https://doi.org/10.1007/s10717-008-9027-0>

Информация об авторах

Онищук Виктор Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология стекла и керамики». E-mail: v.onishchuk@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лазарова Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник. E-mail: juliaitsmee@mail.ru. АО «НПО Стеклопластик». Россия, 141551, Московская обл., городской округ Солнечногорск, р.п. Андреевка, стр.3-А.

Евтушенко Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология стекла и керамики». E-mail: naukaei@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.04.2021 г.

© Онищук В.И., Лазарова Ю.С., Евтушенко Е.И., 2021

^{1,*}*Onishchuk V.I.*, ²*Lazarova Yu.S.*, ¹*Evtushenko E.I.*
¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
²JSC "SPA Stekloplastik"
 *E-mail: v.onishchuk@mail.ru

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING ASH FROM REFTINSKAYA GRES THE PRODUCTION OF CONTINUOUS GLASS FIBER

Abstract. The article presents the results of the evaluation of the study of the possibility of using ash and slag waste (ASW) of the Reftinskaya SDPP as a component of the charge used in the production of continuous glass fiber of high-modulus (type E), dielectric resistant (type S) and high-strength, chemically stable basalt (type B) compositions. Since the chemical composition of ash is multicomponent and significantly differs from the compositions traditionally used in the production of glass fiber raw materials, in order to establish the technological features of its use as a component of the charge, experimental compositions of glasses are designed to achieve their specified physical and mechanical properties, with the maximum possible content of ash in the composition of glass charges. The predefined assessment shows the acceptable properties of glass for glass fiber compositions E, S and B can be obtained at the content of 36 %, 68 % and 64 % ash in the charges, respectively, for the listed types E, S u B. The determination of the glass transition temperature intervals of the experimental charge compositions demonstrates that an increase in the ash content in them increases the temperature that ensures the production of a high-quality melt. Studies of the tendency of experimental glass compositions to crystallization, which prevents the effective process of fiber formation, allows to determine that almost all compositions have a reduced tendency to crystallization, therefore, they can be used in the production of glass fibers of types E, S and B.

Keywords: ash and slag waste, properties, modeling of glass compositions, properties, glass transition and crystallization of experimental glasses.

REFERENCES

1. Arkhangel'skiy I.V. Ash and slag waste from thermal power plants and boiler houses. Engineering survey. Disposal. GEOinfo.ru. Information resource for survey engineers [Zoloshlakovye othody TES i kotel'nyh. Inzhenernye izyskaniya. Utilizatsiya. GEOinfo.ru. Informatsionnyj resurs dlya inzhenerov-izyskatelej]. Access mode: <https://www.geoinfo.ru/products-pdf/zoloshlakovye-othody-tehs-i-kotelnyh-inzhenernye-izyskaniya-utilizatsiya.pdf>. (date of the application: 02/14/2020) (rus)
2. Shamray E.I., Taskin A.V., Ivannikov S.I., Yudakova A.A. Investigation of the possibilities of integrated processing of waste from power engineering enterprises of the Primorsky Territory [Issledovanie vozmozhnostej kompleksnoj pererabotki othodov predpriyatij energetiki Primorskogo kraja]. Modern science-intensive technologies. 2017. No. Pp. 68–75. (rus)
3. Kalachev A. Market of ash and slag materials in Russia: problems and solutions [Rynok zoloshlakovyh materialov Rossii: problemy i resheniya]. URL: <https://docplayer.ru/30342910-Rynok-zoloshlakovyh-materialov-rossii-problemy-i-resheniya.html> (date of the application: 03/12/2021). (rus)
4. Pichugin E.A. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in the economic turnover [Analiticheskij obzor nakoplenogo v Rossijskoj federacii opyta vovlecheniya v hozyajstvennyj oborot zoloshlakovyh othodov teplo-elektrostancij]. Problems of regional ecology. 2019. No. Pp. 77–87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077. (rus)
5. Zyryanov V.V., Zyryanov D.V. Fly ash is a technogenic raw material [Zola-unosa – tekhnogennoe syr'e], M.: IITs "Mask", 2009. 319 p. (rus)
6. Glass chemistry [Himiya stekla]. Leningrad: Chemistry. Leningr. Department, 1970. 351 p. (rus)
7. Matveev M.A., Matveev G.M., Frenkel B.N. Calculations in the chemistry and technology of glass: A reference guide. Moscow, 1972. 233 p. (rus)
8. Mazurin O.V., Nikolina G.P., Petrovskaya M.L. Calculation of glass viscosity [Raschet vyazkosti stekol]. L.: LTI them. Lensoвета, 1988. 46 p. (rus)
9. Mill F.E., Krasilnikova E.A. Tempered mechanically frosted glass [Zakalennyye mekhanicheski matirovannyye stekla]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 177–181. (rus)
10. Wallenberger F.T., Watson J.C., Li, Hong. Glass fibers. ASM Handbook. 2000. 21. Pp. 27–34. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v21.a0003353>
11. Tatarintseva O.S., Khodakova N.N., Uglova, T.K. Dependence of the viscosity of basalt melts on the chemical composition of the initial mineral material. Glass Ceram. 2012. 68. Pp. 323–326 <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9381-9>

12. Budnikov P.P., Balkevich V.L., Bulavin I.A., Poluboyarinov D.N., Berezhnoy A.S., Kukolev G.V., Popilsky R.Ya. Chemical technology of ceramics and refractories [Himicheskaya tekhnologiya keramiki i огнеупоров]. Publishing house of literature on construction, Moscow 1972. 553 p. (rus)

13. Min'ko N. I. Binaliev I. M. Role of sodium sulfate in glass technology. *Glass Ceram.* 2013. 69.

Pp. 361–365. <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9479-8>

14. Zhernovaya N.F., Min'ko N.I., Onishchuk V.I., Kochetov M.Yu., Borodkin S. A. Effectiveness of sulfate clarification of type E alkali-free glass. *Glass Ceram.* 2008. 65. 109–112. <https://doi.org/10.1007/s10717-008-9027-0>

Information about the authors

Onishchuk, Viktor I. PhD, Professor. E-mail: v.onishchuk@mail.ru Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Lazarova, Yulia S. Junior researcher. E-mail: juliaitsmee@mail.ru JSC "SPA Stekloplastik". Rossiya, 141551, Moscow region, Solnechnogorsk city district, Andreevka village, p. 3-A

Yevtushenko, Yevgeny I. DSc, Professor. E-mail: naukaei@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 09.04.2021

Для цитирования:

Онищук В.И., Лазарова Ю.С., Евтушенко Е.И. Оценка возможности использования золы рефтинской ГРЭС в производстве непрерывного стекловолокна // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 71–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-71-81

For citation:

Onishchuk V.I., Lazarova Yu.S., Evtushenko E.I. Assessment of the possibility of using ash from reftinskaya gres the production of continuous glass fiber. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2021. No. 5. Pp. 71–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-71-81